

ПРИМЕНЕНИЕ ПГУ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Во всем мире прогресс в теплоэнергетике связывают с решением задач по повышению эффективности, экологичности, снижению материало- и капиталоемкости, повышению надежности и эксплуатационных свойств энергетических установок тепловых электростанций.

Одним из признанных направлений по реализации поставленных задач является широкое внедрение в энергетику комбинированных парогазовых установок. В энергетическом секторе, использующем в качестве топлива природный газ или жидкое топливо, приоритет использования парогазовых установок хорошо известен.

В 1944–1945 гг. в ЦКТИ А.Н. Ложкин разработал схему парогазовой установки со сгоранием топлива при постоянном давлении. Теоретические основы комбинированного парогазового цикла с высоконапорным парогенератором (ПГУ с ВПГ) были рассмотрены в работах ЦКТИ (А. Н. Ложкин, А. Э. Гельтман), что позволило повысить эффективность установки за счет параллельного с регенеративной системой паровых турбин подогрева питательной воды. В этот период были разработаны основные принципы комбинирования паровых и газовых турбин, проведен термодинамический анализ парогазовых циклов, выполнено сравнение различных комбинированных схем и выявлено преимущество установок с высоконапорными парогенераторами по сравнению с ПГУ сбросного типа (с низконапорными парогенераторами) и с котлами-утилизаторами. Это преимущество заключается прежде всего в значительном снижении металлозатрат в высоконапорные парогенераторы по сравнению с котлоагрегатами обычного типа. Кроме того, парогазовые установки с высоконапорными парогенераторами обеспечивают большую экономию топлива как по сравнению с парогазовыми установками других типов, так и по сравнению с отдельными паротурбинными и газотурбинными установками. Это справедливо для ПГУ на базе газовых турбин с начальной температурой газов перед ними до 950–1000 °С.

Принцип работы самой экономичной и распространенной классической схемы ПГУ таков. Устройство состоит из двух блоков: газотурбинной (ГТУ) и паросиловой (ПС) установок. В ГТУ вращение вала турбины обеспечивается образовавшимися в результате сжигания природного газа, мазута или солярки продуктами горения – газами. Образовавшиеся в камере сгорания газотурбинной установки продукты горения вращают ротор турбины, а та, в свою очередь, крутит вал первого генератора.

В первом, газотурбинном, цикле КПД редко превышает 38 %. Отработавшие в ГТУ, но все еще сохраняющие высокую температуру продукты горения поступают в так называемый котел-утилизатор. Там они нагревают пар до температуры и давления (500 °С и 80 атм), достаточных для работы паровой турбины, к которой подсоединен второй генератор. Во втором, паросиловом, цикле используется еще около 20 % энергии сгоревшего топлива. В сумме КПД всей установки оказывается около 58 %. Существуют и некоторые другие типы комбинированных ПГУ, но существенного влияния на современную энергетику они не оказывают. Как правило, такие системы используются генерирующими компаниями в случае, когда необходимо максимизировать производство электрической энергии. Когенерация в этом случае играет подчиненную роль и обеспечивается за счет отвода части тепла из паровой турбины. Паровые энергоблоки хорошо освоены. Они надежны и долговечны. Их единичная мощность достигает 800–1200 МВт, а коэффициент полезного действия (КПД), представляющий собой отношение произведенной электроэнергии к теплотворности использованного топлива, составляет до 40–41 %, а на наиболее совершенных электростанциях за рубежом – 45–48 %. Также уже длительное время в энергетике используются газотурбинные установки (ГТУ). Это двигатель совершенно иного типа. В ГТУ атмосферный воздух сжимается до 15–20 атм, в нем топливо сжигается с образованием высокотемпературных (1200–1500 °С) продуктов сгорания, которые расширяются в турбине до атмосферного давления. Вследствие более высокой температуры турбина развивает примерно вдвое большую мощность, чем необходимо для вращения компрессора. Избыток ее используется для привода электрического генератора. За рубежом эксплуатируются ГТУ единичной мощностью 260–280 МВт с КПД 36–38 %. Температура отработавших в них газов составляет 550–620 °С. Вследствие принципиальной простоты цикла и схемы стоимость газотурбинных установок существенно ниже, чем паровых. Они занимают меньше места, не нуждаются в охлаждении водой, быстро запускаются и изменяют режимы работы. ГТУ легче обслуживать и полностью автоматизировать.

Так как рабочей средой газовых турбин являются продукты сгорания, сохранять работоспособность деталей, которые омываются ими, можно, только используя чистые виды топлива: природный газ или жидкие дистилляты.

ГТУ быстро развиваются, при этом растет единичная мощность, происходит повышение рабочих параметров установки и КПД. За рубежом они освоены и эксплуатируются с такими же показателями надежности, как и паровые энергоблоки.

Разумеется, тепло отработавших в ГТУ газов может быть использовано. Проще всего это сделать путем подогрева воды для отопления или выработки технологического пара. Количество произведенного тепла оказывается несколько больше, чем количество электроэнергии, а общий коэффициент использования тепла топлива может достигать 85–90 %.

Есть и другая, еще более привлекательная, возможность заставить это тепло работать. Из термодинамики известно, что КПД наиболее совершенного цикла теплового двигателя (его придумал Карно почти 200 лет назад) пропор-

ционально отношению температур подвода и отвода тепла. В ГТУ подвод тепла происходит в процессе сгорания. Температура образующихся продуктов сгорания, которые являются рабочей средой турбин, не ограничивается стенкой (как в котле), через которую передается тепло, и может быть существенно выше. Освоено охлаждение омываемых горячими газами деталей, позволяющее поддерживать их температуры на допустимом уровне.

В паровых энергоустановках температура перегретого пара не может превышать допустимую для металла труб котельных пароперегревателей и таких неохлаждаемых узлов, как паропроводы, коллекторы, арматура, – она составляет сейчас 540–565 °С, а в самых современных установках – 600–620 °С. При этом отвод тепла в конденсаторах паровых турбин осуществляется циркуляционной водой при температурах, близких к температуре окружающей среды.

Указанные особенности позволяют существенно повысить КПД производства электроэнергии путем объединения в одной парогазовой установке (ПГУ) высокотемпературного подвода (в ГТУ) и низкотемпературного отвода тепла (в конденсаторе паровой турбины). Для этого отработавшие в турбине газы подаются в котел-утилизатор, где генерируется и перегревается пар, поступающий затем в паровую турбину. Приводимый турбиной электрический генератор при неизменном расходе топлива в камере сгорания ГТУ увеличивает выработку электроэнергии в 1,5 раза. В итоге КПД лучших современных ПГУ составляет 55–58 %. Такие ПГУ называют бинарными потому, что в них осуществляется двойной термодинамический цикл: пар в котле-утилизаторе и работа паровой турбины производятся за счет тепла, подведенного в камере сгорания ГТУ и уже отработавшего в верхнем газотурбинном цикле.

Привлекательными особенностями таких ПГУ, помимо высокого КПД, являются умеренная удельная стоимость (в 1,5–2 раза ниже, чем у паровых энергоблоков близкой мощности), возможность сооружения за короткое (два года) время, в два раза ниже потребности в охлаждающей воде, хорошая маневренность, сравнительная простота устройства и компактность.

Электростанции на базе парогазовых установок не только очень эффективны, но и отвечают самым жестким экологическим требованиям. Например, уровень выбросов оксидов азота такими электростанциями в 2–3 раза ниже, чем у более привычных нам газовых или дизельных. Именно поэтому около 65 % всех строящихся в мире электростанций комплектуются парогазовыми установками.

Согласно расчетам отечественных энергетиков постепенный перевод систем выработки электроэнергии на электростанции с парогазовыми установками позволит увеличить КПД энергооборудования более чем в два раза, что является немалым вкладом в обеспечение энергобезопасности страны. Кроме того, введение в строй большого количества подобных электростанций позволит значительно снизить конечную стоимость вырабатываемой энергии.

Парогазовые установки – относительно новый тип силовых установок используемый в западных странах чаще, особенно на электростанциях, работающих на природном газе.